

Etude de la dynamique et de la phénologie de la croissance racinaire et aérienne du chêne sur sol à engorgement temporaire

Sujet de stage de M2 ou de 3^{ème} année d'école d'ingénieur 2025-2026

Problématique

En France métropolitaine, environ 2,4 millions d'hectares de sols forestiers sur 16,9 millions présentent des traces d'hydromorphie à moins de 60 cm de profondeur. Dans certaines régions, ces sols peuvent couvrir jusqu'à 70% des surfaces forestières (Petitjean et al. 2022), soulignant l'importance des conditions d'engorgement dans les forêts françaises. Les peuplements installés sur des sols à engorgement temporaires sont exposés à deux risques successifs :

- l'hypoxie liée à l'engorgement, qui limite la diffusion et la disponibilité de l'oxygène pour les racines et les micro-organismes aérobies du sol, perturbant ainsi le cycle des nutriments et la nutrition minérale des arbres (Rennenberg et al. 2009; Kreuzwieser and Gessler 2010) ;
- le déficit hydrique lié à la sécheresse, souvent intensifié par une colonisation limitée des racines fines, ce qui réduit la capacité des arbres à accéder au réservoir en eau profond (Lefèvre and Levy 2001).

Les scénarios climatiques pour l'Europe centrale projettent une augmentation des précipitations hivernales et printanières, ainsi que des épisodes pluvieux estivaux plus extrêmes (IPCC 2021), entraînant une fréquence et une intensité accrues des engorgements, y compris pendant la saison de croissance (Christensen and Christensen 2003; Lehmkuhl et al. 2022). Dans le même temps, la hausse des températures et la diminution des précipitations estivales devraient augmenter la fréquence et la durée des sécheresses (IPCC 2021). Ainsi, les changements climatiques intensifieront les risques liés à l'eau dans les forêts sur sol à engorgement temporaire, déclenchant des effets en cascade sur les processus et les fonctions du sol, ainsi que sur l'écophysiologie des arbres. A terme, la croissance, la productivité et la survie des peuplements pourraient être menacées.

Les racines constituent une proportion importante de la biomasse de l'arbre, allant de 30 à 50%, selon les espèces et la richesse du milieu (Mokany et al. 2006; Qi et al. 2019). Les racines fines assurent des fonctions essentielles de l'arbre telles que la nutrition minérale et hydrique, en développant une surface d'échange importante avec le sol. Les engorgements temporaires peuvent modifier la croissance et le fonctionnement racinaire des arbres (Rasheed-Depardieu et al. 2015; Roitto et al. 2019; Manghwar et al. 2024), induisant de potentielles baisses de croissance des peuplements (Roitto et al. 2019).

Compte tenu de l'urgence du changement climatique, il est essentiel d'étudier, *in situ*, les interactions entre la dynamique de l'eau dans le sol et les réponses écophysiologiques des arbres matures, afin d'anticiper les effets sur la résilience des forêts sur sols à engorgement temporaire.

Objectif du stage

Ce stage vise à évaluer l'impact de la nappe temporaire sur la phénologie et la dynamique de croissance racinaire et aérienne d'un peuplement adulte de chênes pédonculés implanté sur sol à nappe temporaire. L'étudiant.e contribuera ainsi à une meilleure compréhension des réponses écophysiologiques de l'arbre face à des contraintes hydriques contrastées.

Dispositif et matériel

Le dispositif expérimental de Charmes (Vosges) est instrumenté pour suivre finement la croissance aérienne et racinaire du chêne en lien avec le suivi temporel du contenu en eau du sol.

- Pour le suivi de croissance racinaire : 10 tubes endoscopes ont été mis en place à proximité de 10 arbres avec un suivi mensuel depuis janvier 2022.
- Pour le suivi des propriétés hydriques (teneur en eau et nappe d'eau) et de température de sol : 3 répétitions de sondes mesurant humidité et température (CAMPBELL) ont été mises en place à 6 profondeurs (8-20-40-60-80-100 cm) avec un suivi horaire depuis mai 2021.
- Pour le suivi de la croissance radiale, des micro-dendromètres automatiques ont également été installés avec un suivi infra-annuel depuis plusieurs années.

Travail attendu du/de la stagiaire

1. Travail de terrain : missions régulières sur le dispositif pour acquérir les images racinaires *via* l'endoscope.
2. Analyse d'images racinaires : utilisation du logiciel WinRhizotron© pour mesurer différentes variables (longueur des racines et taux d'élongation).
3. Analyses statistiques sous R pour relier la croissance racinaire, la phénologie aérienne, les paramètres hydriques du sol, la dynamique de la nappe temporaire.
4. Mise en perspective scientifique :
 - Interprétation des résultats en lien avec la littérature et les mécanismes écophysologiques sous-jacents ;
 - Contribution à l'avancement d'une thèse en cours portant sur le comportement des chênes en conditions d'engorgement temporaire.

Profil recherché

Aptitudes thématiques

Le/la candidat.e devra avoir un intérêt marqué pour :

- la biologie, l'écologie et/ou l'écophysologie,
- la manipulation et les analyses statistiques de données et la modélisation avec le logiciel R,
- les outils de bureautique (Excel, Word, PowerPoint).

La connaissance et les expériences préalables dans certains de ces domaines constituent un atout, mais ne sont pas requises.

Aptitudes générales

- Esprit critique et goût pour le travail de modélisation.
- Grande rigueur, soin, sens de l'organisation et bonnes capacités rédactionnelles.
- Aptitude au travail en équipe et à la collaboration interdisciplinaire.
- Ouverture d'esprit, curiosité scientifique.
- Dynamisme et motivation pour le travail de terrain et de laboratoire.

Collaborateurs

- Caroline PETITJEAN, Maîtresse de conférences, spécialiste des sols forestiers, équipe ECOSILVA, UMR SILVA, AgroParisTech.
- Joseph LEVILLAIN, Ingénieur de Recherche, spécialiste des sols forestiers, équipe ECOSILVA, UMR SILVA, INRAE.
- Nathalie BREDAS, Directrice de recherche, spécialiste écophysologie et changement climatique, équipe ECOSILVA, UMR SILVA, INRAE.

Lieux de travail

Le stage se déroulera dans les locaux de l'UMR SILVA (INRAE Champenoux ou AgroParisTech Nancy) en interaction avec l'équipe du projet **OASIS** (**O**aks **A**nd **S**oil **I**nteractions under **S**tresses).

Conditions pratiques du stage

- Gratification de stage sur les 6 mois : environ 540 à 590 €/mois.
- Accès à tarif subventionné au self du centre INRAE de Champenoux.
- Droit à une carte de bus pour le transport gratuit depuis Nancy vers le site de Champenoux.
- Comité d'Entreprise (ADAS) pour un accès aux activités sportives et culturelles.
- Dispositifs de développement des compétences : formation, conseil en orientation professionnelle.

Modalités de candidature

Envoyer un CV et une lettre de motivation aux personnes ressources ci-dessous avant le 15 décembre.

Joseph LEVILLAIN, joseph.levillain@inrae.fr, 03 83 39 40 74

Caroline PETITJEAN, caroline.petitjean@agroparistech.fr, 03 83 39 68 82

Références bibliographiques

- Christensen JH, Christensen OB (2003) Severe summertime flooding in Europe. *Nature* 421:805–806. <https://doi.org/10.1038/421805a>
- IPCC (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press
- Kreuzwieser J, Gessler A (2010) Global climate change and tree nutrition: influence of water availability. *Tree Physiol* 30:1221–1234. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq055>
- Lefèvre Y, Levy G (2001) La forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire. Contraintes subies. Choix des essences. Interventions et gestion durable. ENGREF
- Lehmkuhl F, Schüttrumpf H, Schwarzbauer J, et al (2022) Assessment of the 2021 summer flood in Central Europe. *Environmental Sciences Europe* 34:107. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00685-1>
- Manghwar H, Hussain A, Alam I, et al (2024) Waterlogging stress in plants: Unraveling the mechanisms and impacts on growth, development, and productivity. *Environmental and Experimental Botany* 224:105824. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105824>
- Mokany K, Raison RJ, Prokushkin AS (2006) Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology* 12:84–96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x>
- Petitjean C, Bastianelli M, Levillain J, et al (2022) Les sols forestiers à nappe temporaire : fonctionnement, particularités et enjeux actuels. *Forêt Wallonne (1988 - 2015) Devient Forêt Nature* 163:53
- Qi Y, Wei W, Chen C, Chen L (2019) Plant root-shoot biomass allocation over diverse biomes: A global synthesis. *Global Ecology and Conservation* 18:e00606. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00606>
- Rasheed-Depardieu C, Parelle J, Tatin-Froux F, et al (2015) Short-term response to waterlogging in *Quercus petraea* and *Quercus robur*: A study of the root hydraulic responses and the transcriptional pattern of aquaporins. *Plant Physiology and Biochemistry* 97:323–330. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.10.016>
- Rennenberg H, Dannenmann M, Gessler A, et al (2009) Nitrogen balance in forest soils: nutritional limitation of plants under climate change stresses. *Plant Biol (Stuttg)* 11 Suppl 1:4–23. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00241.x>
- Roitto M, Sutinen S, Wang A, et al (2019) Waterlogging and soil freezing during dormancy affected root and shoot phenology and growth of Scots pine saplings. *Tree Physiology* 39:805–818. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz003>